

Синь Ян (Китай), Вэн Линь (Китай), Чжан Лижень (Китай)

Цзилиньский университет, Чанчунь, Китай

Томский политехнический университет, Томск

Научный руководитель: Слабухо Олеся Анатольевна

К ВОПРОСУ ОБ ЭФФЕКТЕ МПЕМБЫ

В природе существует множество физических и химических явлений, которые противоречат здравому смыслу и даже науке нашего времени. Так, например, ученый Фуко случайно подтвердил вращение Земли, наблюдая за колебаниями лампы, висящей в церкви, и таким образом изобрёл маятник, который впоследствии был назван его именем. Другие ученые имитировали пилообразную форму листьев для разработки пилы с большей режущей способностью, что повысило эффективность производства. Это лишь несколько примеров, когда изучение природных феноменов помогло людям преодолеть существующие когнитивные ограничения и улучшить жизнь.

Иногда ученые сталкиваются с явлениями, которые они не в силах повторить или объяснить. В данной статье речь пойдет о важном и необычном эффекте Мпембы, названном в честь школьника из Танзании, обнаружившего ещё в 60-х годах XX века, что при определённых условиях жидкость с относительно высокой начальной температурой замерзает быстрее, чем жидкость с низкой начальной температурой. Данное наблюдение заинтересовало профессора физики Дениса Осборна, с которым Эрасто Мпемба совместно провел ряд экспериментов [1].

Исследователи провели множество опытов для измерения времени, необходимого для измерения 50 мл воды при различной температуре до 0°C. Стало очевидным, что с повышением первоначальной температуры скорость охлаждения не уменьшается, а колеблется. Явление Мпембы возникло в контексте одноразового роста этих кривых. Ученые предложили общую формулу, которая лучше подходит к кривой. Стоит отметить, что эффект Мпембы может возникнуть, только если будут выполнены условия, необходимые для достижения конечной цели.

Однако тут есть очевидная проблема – процесс охлаждения воды зависит от разных факторов с большой погрешностью, не говоря уже об объективных фактах невысокого дублирования экспериментов (многие исследователи не заметили явление Мпембы), которые теоретически лишь дополнительно характеризуют это явление, подтверждая лишь результаты, но не объясняя их. [2]

Было зафиксировано, что при температуре воды 43, 47, 53, 64 градуса наблюдается та же скорость охлаждения. Положительный наклон на графике – это диапазон температур, в котором можно наблюдать явление Мпембы.

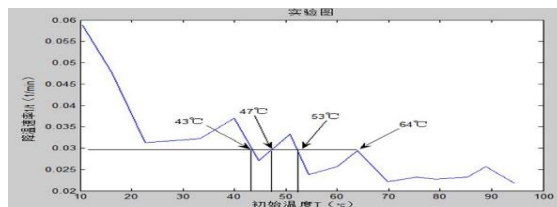


Рисунок 1. Теория периодических возмущений

Несмотря на то, что вышеуказанные результаты относительно близки к экспериментальным данным, теоретические объяснения содержат лишь описание этого явления и не являются поучительными. Конкретные характеристики охлаждения не объясняются на микроуровне.

В мае 2020 года Avinash Kumar & John Bechhoefer добились новых сдвигов на микроуровне в связи с эффектом Мпембы. Было замечено, что преломляющий свет оказывает давление на материал преломляющего света. Кроме того, можно ограничить молекулу очень тонким лучом, чтобы она могла двигаться только в одном потенциальном поле.

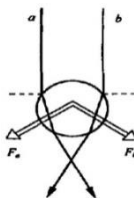


Рисунок 2. Схема принципа оптического пинцета

Оптическую потенциальную энергию можно рассматривать как потенциальное поле, которое удовлетворяет условиям использования уравнения распределения Больцмана. Так при относительно высокой температуре молекулы скорость распределения Больцмана не будет соответствовать теоретическому изображению, а после охлаждения молекулы до заданной температуры распределение Манна будет соответствовать теоретическому изображению. Следовательно, наблюдая за скоростью распределения Больцмана, можно судить, остыла ли молекула до заданной температуры.

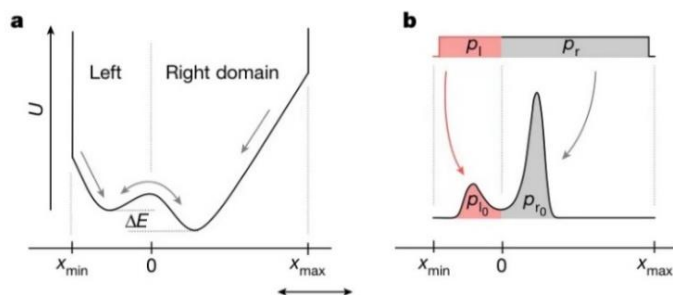


Рисунок 3. Энергетическая потенциальная яма и диаграмма распределения Больцмана

На рисунках видно, что молекулы, охлажденные до заданной температуры, показывают вероятность распределения (график справа).

Затем было использовано уравнение Фоккера-Планка. В нем описывается функция распределения частиц, подвергшихся случайному воздействию силы после изменения положения или скорости в поле потенциальной энергии во времени [1].

$$\frac{\delta f}{\delta t} = - \sum_{i=1}^N \frac{\delta}{\delta x_i} [D_i^1(x_1, \dots, x_N) f] + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{\delta^2}{\delta x_i \delta x_j} [D_{ij}^2(x_1, \dots, x_N) f]$$

Исследователи развернули уравнение Фоккера-Планка методом разложения в ряд Тейлора и предположили, что первые два являются определителями [1].

$$p(x, t) \approx \pi(x; T_b) + a_2(\alpha, T_{\text{initial}}) e^{-\lambda_2 t} v_2(x; \alpha, T_b)$$

Где « $p(x, t)$ » является функцией плотности вероятности, указывающей на вероятность (без проведения тензора) молекулы в определенном месте в одномерном пространстве (т.е. в координатах x) и в определенный момент. Интересно отметить, что коэффициент второго пункта a_2 зависит от исходной температуры T_{initial} , что косвенно указывает на важность исходной температуры для скорости охлаждения. Эта формула не является монотонностью с изменением температуры, но основной формулой, объясняющей существование эффекта Мпембы.

Как макро -, так и микроученые дали более подробное описание этого явления, но на самом деле, эффект Мпембы не сработал. Генри К. Берридж и Пол Ф. Линден провели эксперименты с высокоточными измерениями изменения температуры, результаты которых полностью соответствуют элементарным знаниям и существенно отличаются от данных, опубликованных Мпембой в 1969 году.

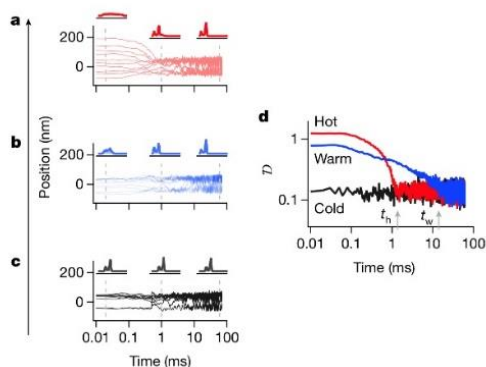


Рисунок 4. Диаграмма распределения Больцмана в эксперименте

На графиках видно, что при температурах тепла (красный; а), тепла (синий; b) и холода (черный; c) начальное распределение Больцмана тепловой системы имеет наибольший разрыв с состоянием равновесия, но состояние равновесия достигается первым.

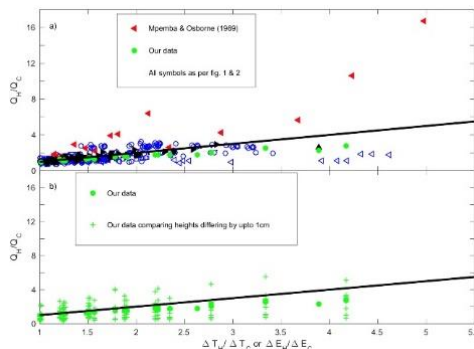


Рисунок 5. Экспериментальные данные, подтверждающие отсутствие эффекта Мпембы

Красные точки – это данные Мпембе, а зеленые точки данных – это данные, полученные экспериментатором, и тенденция данных согласуется со здравым смыслом, согласно которому сначала замерзает холодная вода.

Ученые спорили об этом, потому что если бы этот эффект действительно существовал, то это было бы колоссальным вызовом для важной термодинамической гипотезы квазистатического процесса. Конечно, это также вывело бы термодинамическую теорию на новую высоту. В приведенном выше споре на самом деле может быть неправильное понимание определения эффекта Мпембы. Согласно статье, опубликованной Мпембой, утверждение о том, что «горячая вода замерзает быстрее, чем холодная», неверно. Когда есть некоторый температурный пар, горячая вода замерзает быстрее, чем холодная [3].

Стоит отметить, что аномальное существование эффекта Мпембы было значительно расширено дальнейшими исследованиями ученых. Так, например, некоторые ученые предсказывают обратный эффект Мпембы, при котором холодная вода будет иметь конверсионную скорость нагрева.

Изучив опыт исследователей, нашей группой было решено принять во внимание последствия испарения, так как при различных температурах скорость испарения жидкости неодинакова, а испарение, как сильная конвективная теплообменная теплота, может принести значительный теплообмен. При испарении потеря жидкости и наличие внутренних температурных градиентов могут приводить к неравномерному распределению плотности и, следовательно, к образованию потока. Такое направленное течение может нарушить гипотезу квазистатического процесса.

Для того чтобы решить эту проблему, нами было проведено машинное моделирование и было подтверждено значительное влияние испарения на охлаждение. Для моделирования использовался COMSOL. На левом рисунке можно увидеть результат моделирования первоначального состояния, а на правом – результаты моделирования испарения и его игнорирования.

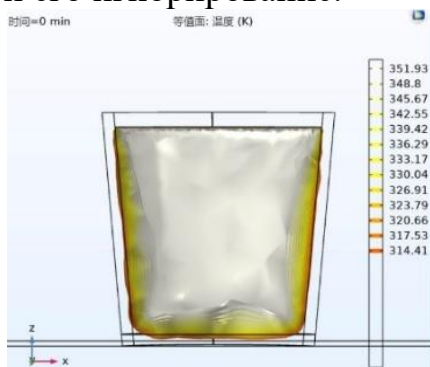


Рисунок 6. Результаты симуляции

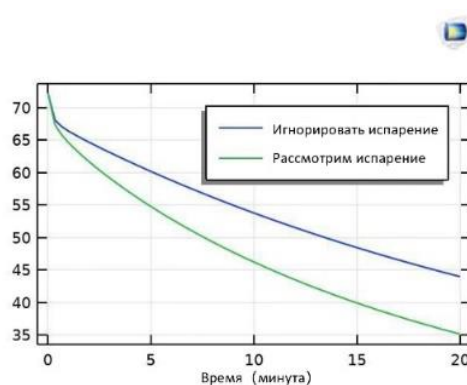


Рисунок 7. Результаты симуляции

По техническим причинам невозможно более детально изучить этот вопрос, и многое еще необходимо рассмотреть. Однако, независимо от того, является ли эффект Мпембы микровеществом или случайностью, вызванной такими факторами, как испарение, эта аномалия может быть хорошо использована, если она будет признана. Например, в пищевой холодильной промышленности могут быть сокращены многие процессы или время охлаждения. Более эффективно может осуществляться также низкотемпературная водородная мишень, необходимая для атомной физики.

Эффект Мпембы не оказывает большого влияния на нашу повседневную жизнь. Возможно, он может только повысить эффективность индустрии быстрой заморозки, но может быть он позволит ученым ускорить скорость нагрева определенных квантовых машин и обойти некоторые ограничения стандартных физических машин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Kumar, A., Bechhoefer, J. //Exponentially faster cooling in a colloidal system. Nature - 2020. - № 584. - С.64–68.
2. 黄兴奎.基于姆潘巴效应实验的理论分析//荆楚理工学院学报. - 2014. - № 06. - С. 82-86.
3. Jeng, M. The Mpemba effect: when can hot water freeze faster than cold? //Am. J. Phys. - 2006. № 74, С.514 – 522.
4. Mpemba Erasto B.Osborne Denis G.Cool. //Physics Education Institute of Physics. - 1969, № 4, С.172-175.

Сулейман Ранд (Сирия)

Казанский федеральный университет, г. Казань

Научный руководитель: Каюмов Айрат Рашитович
д.б.н., доцент

АНТИМИКРОБНАЯ И АНТИМИКОТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ПРОИЗВОДНЫХ 2(5Н)-ФУРАНОНА

Ключевые слова: Производные 2 (5Н) -фуранона, Смешанные биопленки, Противомикробное и противогрибковое действие, *S. albicans*, *S. aureus*, Синергизм.

Введение: Биопленки - сложные микробные сообщества, прикрепленные к поверхностям и погруженные в матрикс внеклеточных полимерных веществ (EPS). Смешанные биопленки *Candida albicans* - *Staphylococcus aureus* проявляют повышенную устойчивость к обычным противомикробным препаратам и часто являются причиной хронических инфекций с высокой смертностью. Новые производные 2 (5Н) - фуранона, содержащие фрагменты 1-ментола (F105) или 1-борнеола (F131), могут быть использованы для повышения эффективности лечения смешанных инфекций *S. aureus* *C. albicans*. Кроме того, широко используется комбинированное применение противомикробных препара-